Optik für Astro-Amateure

Autor(en): **Wiedemann, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **13 (1968)**

Heft 107

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899985

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Art. 14

Le Bureau se compose du Président, des Vice-présidents, du Secrétaire général, du Trésorier et des rédacteurs. Il est chargé de l'expédition des affaires courantes.

Art. 15

Les rédacteurs du Bulletin, le Président et le Secrétaire général constituent la Commission de rédaction.

Art. 16

Les charges de la Société sont honorifiques.

Dispositions finales

Art. 17

La durée de la Société est illimitée.

Art. 18

La dissolution de la Société ne peut être prononcée que par une votation par correspondance statuant à la majorité des trois quarts des voix exprimées.

En cas de dissolution, l'avoir de la Société serait attribué à une institution ayant un but analogue.

Art. 19

Les présents statuts ne peuvent être modifiés que par décision de l'Assemblée Générale (art. 11, 12) ou par une votation par correspondance (art. 12).

Art. 20

Ces statuts remplacent ceux du 26 mai 1962 et entrent en vigueur dès leur approbation par l'Assemblée Générale du 5 mai 1968.

Le Président: E. Herrmann

Le Secrétaire général: Hans Rohr

Optik für Astro-Amateure

von E. Wiedemann, Riehen

2. Mitteilung

Die Verwirklichung der optischen Abbildung

Im Anschluss an die in der 1. Mitteilung[1]) besprochenen Grundbegriffe wollen wir nun Schritt für Schritt sehen, wie sich eine optische Abbildung, zunächst mit engen und dann mit weit geöffneten Strahlenbündeln auf und in der Nähe der optischen Achse und dann ausserhalb derselben verwirklichen lässt.

Wenn wir aus einem Photoapparat das Objektiv entfernen und an dessen Stelle eine kleine Platte mit einem feinen Loch setzen, so erhalten wir damit die Urform der Kamera, die sogenannte *Lochkamera*. Sie wird Leonardo da Vinci, um 1500, und Baptista Porta, 1553, zugeschrieben. Da das damit mögliche Bild im Prinzip nur auf der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes beruht, ist es in allen Teilen dem Objekt ähnlich und frei von Abbildungsfehlern. Leider kann man aber mit einer Lochkamera nicht viel anfangen, auch wenn man nach A. Miethe den günstigsten Lochdurchmesser wählt (0.3 mm für 50 mm Schirmabstand, 0.4 mm für 100 mm Schirmabstand usw.), weil die Helligkeit des Bildes völlig ungenügend ist, und die Beugung des Lichtes an der Lochkante die an sich geringe Schärfe des Bildes weiter verschlechtert. Die Lichtstärke einer Lochkamera beträgt etwa 1:250, der Zerstreuungskreis eines Bild«punktes» etwa 1 mm. Vergleicht man diese Werte mit jenen eines guten Photoobjektives, dessen Lichtstärke etwa 1:2.8 und dessen Bildpunktdurchmesser nur einige 1/100 mm beträgt, so erkennt man die Zweckmässigkeit und Nützlichkeit von Linsen- und Spiegelsystemen zur Verwirklichung der optischen Abbildung.

Eine derartige optische Abbildung ist allerdings nicht so leicht zu realisieren. Mit einfachen Linsen oder Spiegeln treten – mit der relativen Öffnung rasch wachsend – Fehler in Erscheinung, worunter man ganz allgemein Abweichungen von der idealen geometrischen Abbildung versteht, wie sie im Prinzip die Lochkamera liefert. Die geometrische Optik lehrt, dass korrigierte optische Systeme, also Systeme, die möglichst frei von Abbildungsfehlern sind, praktisch nur dadurch verwirklicht werden können, dass die an einer brechenden oder reflektierenden Fläche entstehenden Fehler durch Gegenmassnahmen an weiteren Flächen kompensiert werden, wobei im allgemeinen unschädliche Restfehler, die man auch Zonenfehler nennt, verbleiben.

Dieser Aufwand ist leider kaum zu umgehen, weil die optisch wichtigste und technisch am leichtesten zu beherrschende Kugelfläche (von einer Ausnahme abgesehen) nicht aberrationsfrei ist.

Wir wollen nun sehen, welche *Abbildungsfehler* an brechenden und reflektierenden Flächen auftreten können, und was man vorkehren kann, um sie bis auf kleine, unschädliche Reste zu beseitigen.

Da optische Systeme im allgemeinen achsenzentriert sind, die optisch wirksamen Flächen also eine gemeinsame Achse besitzen, empfiehlt sich bei den Abbildungsfehlern eine Unterteilung in solche, die auf und in der Nähe der Achse vorkommen, und solche, die erst in grösserem seitlichen Abstand, also innerhalb eines grösseren Bildfeldes, in Erscheinung treten. Diese Unterteilung entspricht auch dem Verwendungszweck der optischen Systeme, die je nachdem nur Bilder auf der Achse und in ihrer nächsten Umgebung, oder innerhalb eines grösseren Feldes liefern sollen.

Wir zählen zunächst alle Bildfehler auf, besprechen dann die Fehler auf der Achse und in ihrer nächsten Umgebung (also jene innerhalb des Gauss'schen fadenförmigen Raumes), und schliesslich die Fehler ausserhalb des Achsenbereiches.

Die Abbildungsfehler auf und in der Nähe der Achse sind:

A) Der Kugelgestaltfehler oder die sphärische Aberration,

B) Der Vergrösserungsfehler oder der Fehler gegen die Sinusbedingung,

C) Die chromatischen Fehler, die den Fehlern A) und B) entsprechen und als *Chromatische Längsaberration (Farblängsfehler)* und *Chromatische Vergrösserungsdifferenz (Farbquerfehler)* bezeichnet werden.

Hierzu sei sogleich angemerkt, dass die unter C) aufgeführ-

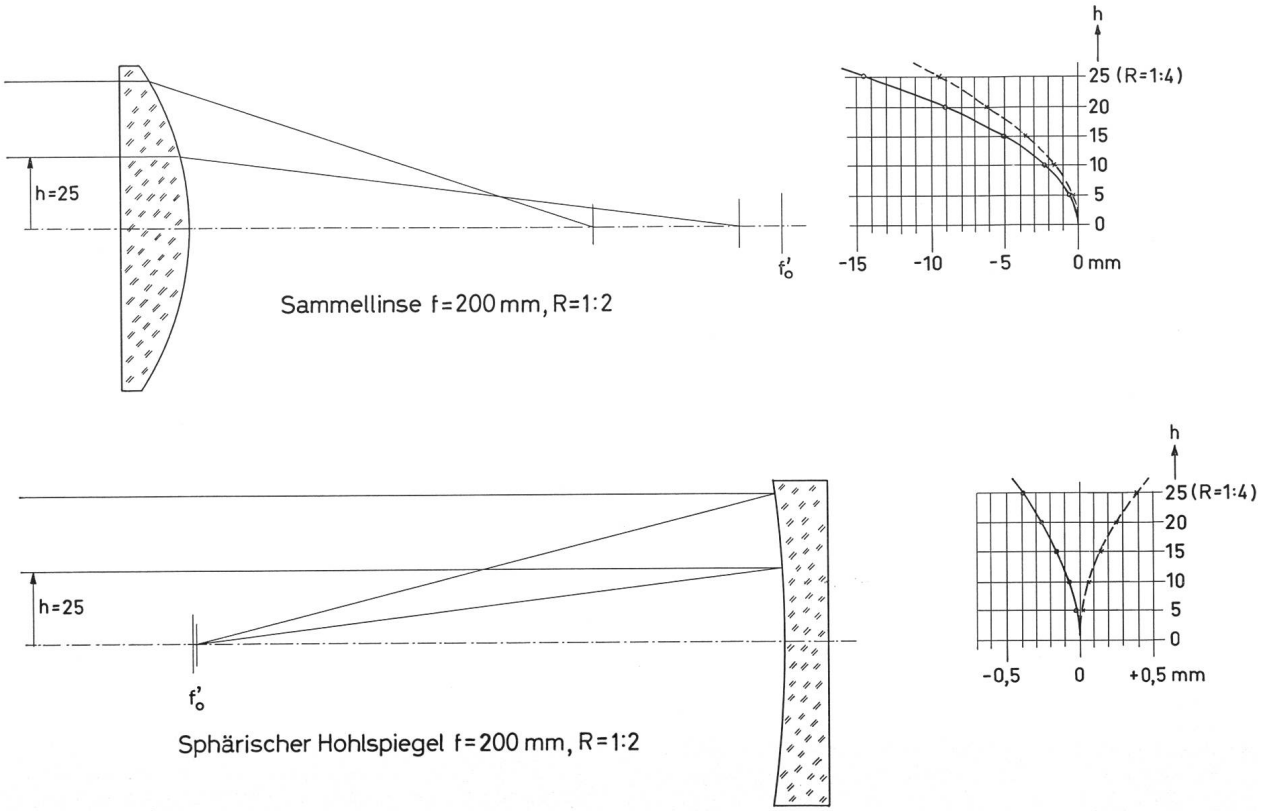

Fig. 3: Die sphärische Aberration (———) und die Abweichung gegen die Sinusbedingung (– – – –) an einer Linsen- und einer Spiegelfläche gleicher Brechkraft und ihre graphische Darstellung nach M. von Rohr.

ten Fehler Linsenfehler sind, die bei reinen Spiegelsystemen nicht auftreten, womit sich deren Bevorzugung insbesondere bei grösseren astronomischen Systemen erklärt.

Die Abbildungsfehler ausserhalb der Achse sind:

D) Der Astigmatismus und die Bildfeldwölbung,
E) Die Komafehler oder Asymmetriefehler,
F) Die Verzeichnung oder Distorsion.

Von den Fehlern der ersten Gruppe sei zunächst

A) Die sphärische Aberration

besprochen. Fällt ein achsenparalleles Strahlenbündel, wie es beispielsweise von einem Stern kommt, auf eine brechende oder reflektierende Kugelfläche, so rückt der Schnittpunkt der gebrochenen bzw. reflektierten Strahlen mit wachsendem Abstand der einfallenden Strahlen von der Achse des Systems, also mit zunehmender Einfallshöhe h, näher an dieser Fläche heran. Man erhält anstelle einer Vereinigung der Strahlen in einem Schnitt- oder Brennpunkt eine unscharfe Abbildung, einen *Zerstreuungskreis*, dessen kleinster Durchmesser *nicht* am Ort des Gauss'schen Brennpunktes, sondern zwischen ihm und der Fläche liegt.

Man bezeichnet die sphärische Aberration an *sammelnden* Kugelflächen als *sphärische Unterkorrektion.* Das Gegenstück dazu ist eine *sphärische Überkorrektion* an *zerstreuenden Kugelflächen.* Ihre übliche Darstellung nach M. von Rohr bedarf lediglich der Anmerkung, dass sich die in diesen Diagrammen angegebenen Zahlenwerte, sofern nichts anderes bemerkt, auf f = 100 beziehen. Man erkennt sofort, dass mit wachsender relativer Öffnung (zunehmende Werte der Einfallshöhe h) die sphärische Aberration erheblich zunimmt und damit zu einer sehr starken Unschärfe führt, die nur durch Abblenden (Verringern der relativen Öffnung) vermindert werden kann. Die sphärische Aberration war denn auch der zuerst erkannte Abbildungsfehler, dessen Beseitigung man anstrebte. Bei *Linsen* ändert sich die Grösse der sphärischen Aberration mit deren Durchbiegung *quadratisch*, also sehr stark, ohne indessen je völlig zu verschwinden. Es gibt eine Linsenform kleinster sphärischer Aberration, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sich ihre Radien etwa wie 1:6 verhalten. Dieser Linsenform kommt die Plankonvexlinse sehr nahe, deren Planfläche dem achsenparallel einfallenden Strahlenbündel zugewendet ist. Analoges gilt für Zerstreuungslinsen.

Auf Grund der quadratischen Abhängigkeit der sphärischen Aberration von der Durchbiegung kann man bei Linsen die sphärische Aberration, und, wie hier vorweggenommen sei, zugleich auch den Vergrösserungsfehler, der sich *linear* mit der Durchbiegung ändert, sowie beide chromatische Fehler (und dazu noch den Verzeichnungsfehler) bis auf sehr kleine Zonenfehler beseitigen, wenn man eine Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse kombiniert und dabei deren Glasarten, Brechkräfte, Radien und Abstände zweckmässig bemisst. Kombiniert man drei Linsen in merklichen Abständen von einander, so wird ausserdem die Beseitigung des Astigmatismus, der Bildfeldwölbung und der Koma für grössere Bildfelder

möglich. Je nachdem, wie man diese Systeme auslegt, können sie sammelnd oder zerstreuend sein. Für sammelnde zweilinsige Systeme muss der Brechungsindex der Zerstreuungslinse grösser als jener der Sammellinse sein, wenn die Linsen nahe beieinander stehen oder verkittet sein sollen.

Auf diese Weise sind die *astronomischen Objektive*, die Photoobjektive und die *Astro-Triplets* entstanden; da bei ihnen eine Mittenausblendung, wie sie Spiegelsysteme erfordern, wegfällt, haben sie ausser dem Vorteil eines kleinen bis grossen scharf ausgezeichneten Bildfeldes noch den einer bestmöglichen Helligkeitsverteilung im Bildpunkt.

Diesen Vorteilen steht im Fall der astronomischen Verwendung leider ein erheblicher Nachteil gegenüber: abgesehen davon, dass es schwer fällt, optisch einwandfreie Linsen mit einem etwa 30 cm übersteigenden Durchmesser herzustellen, ist zu bedenken, dass die unvermeidlichen Zonenfehler, also die Restaberrationen, linear mit der Brennweite anwachsen. Vor allem die chromatischen Restfehler erreichen bei Brennweiten über 1–2 Meter dann die Wahrnehmbarkeitsgrenze, so dass von diesen Brennweiten an die reinen Spiegelsysteme überlegen werden. Trotzdem haben die Linsensysteme in der Astronomie eine erhebliche Bedeutung, und zwar als *Sucher-* und *Leitrohr*-Objektive, als *Korrektionssysteme* und als *Okulare*.

Dass bei diesen Systemen zumeist auch die sphärischen und chromatischen Aberrationen ausserhalb der Achse korrigiert und die Restfehler als Längs- und Queraberrationen dargestellt zu werden pflegen, sei der Vollständigkeit halber erwähnt.

Gehen wir nun zur sphärischen Aberration von *Spiegeln* über, so stossen wir sofort auf eine wichtige Tatsache: Beim Kugelspiegel ist unter sonst gleichen Verhältnissen die sphärische Aberration rund 5mal

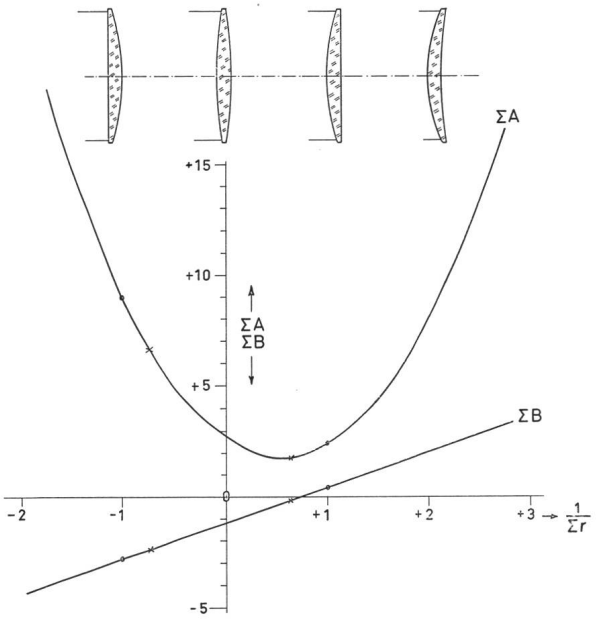

Fig. 4: Graphische Darstellung der Abhängigkeit des Kugelgestaltfehlers (Σ A), sowie der Asymmetriefehler (Σ B)von der Durchbiegung einer Sammellinse für ein achsenparallel einfallendes Strahlenbündel (n=1.5, d=3 mm). Nach M. BEREK[2]).

kleiner als bei einer Linse, die dafür optimal durchgebogen ist. Damit erklärt sich die jedem Astro-Amateur wohlbekannte Geringfügigkeit der Deformation eines Kugelspiegels zu einem Parabolspiegel. Dieser ist dadurch ausgezeichnet, dass achsenparallel einfallende Strahlen *völlig zonenfehlerfrei* in seinem Brennpunkt vereinigt werden. In dieser Hinsicht ist er jedem Linsensystem überlegen. Eine einfache Überlegung zeigt jedoch, dass schon Bündel geringer Neigung zur Systemachse unsymmetrisch reflektiert werden, womit sich das nur sehr kleine scharfe Bild des Parabolspiegels zwangslos erklärt, das bei den grössten Ausführungen nur wenige Bogensekunden umfasst. Um dieses sehr kleine Bildfeld auch nur in bescheidenem Masse zu vergrössern, bedarf es besonderer zusätzlicher Mittel (Systeme nach Ross und anderen). Die völlige Freiheit von Farbfehlern und die Tatsache, dass man sie in grossen bis grössten Dimensionen herstellen kann, macht dennoch die Spiegel den Linsen für astronomische Zwecke überlegen.

Wird ein grösseres Bildfeld, zum Beispiel für astrographische Zwecke, verlangt, so ist die Beseitigung der sphärischen Aberration durch Parabolisierung nicht das geeignete Mittel. Man bleibt dann beim Kugelspiegel und beseitigt seinen sphärischen Fehler entweder durch eine brechende Fläche 4. Grades *vollkommen* nach dem berühmten Vorgang von BERNHARD SCHMIDT, womit ein allerdings nur sehr kleiner und praktisch nicht merklicher Farbfehler eingeführt wird, wobei gleichzeitig Astigmatismus und Koma bis zu relativ grossen Bildwinkeln beseitigt werden können (da diese beiden Bildfeldfehler durch eine passende Blendenstellung korrigierbar sind), oder man kompensiert seinen sphärischen Fehler im Geltungsbereich der 3. Ordnung, also *weitgehend*, durch die beiden brechenden Flächen einer Meniskuslinse nach D. D. MAKSUTOV. Auch bei dieser Anordnung ist es möglich, gleichzeitig Astigmatismus und Koma bis zu relativ grossen Bildwinkeln zu beseitigen.

Beide Systeme haben auch für die Amateur-Astronomie eine erhebliche Bedeutung erlangt, die insbesondere auf die zunehmende Verdrängung der visuellen Beobachtung durch die photographische Aufnahme zurückzuführen ist. Die möglichen Varianten des MAKSUTOV-Systems für die Zwecke des Amateurs werden später noch ausführlich behandelt werden.

Auf die interessante Weiterentwicklung dieser Systeme zu Super-Schmidt-Systemen für besondere Zwecke, wie z. B. Satelliten-Photographie, soll hier nur hingewiesen werden.

B) Der Vergrösserungsfehler oder die Abweichung gegen die Sinusbedingung

Korrigiert man ein Linsensystem oder einen Kugelspiegel durch Parabolisierung sphärisch aus, so kann man im allgemeinen nicht erwarten, dass mit einem Achsenpunkt auch dessen nächste Umgebung scharf abgebildet wird. Dies ist nur der Fall, wenn das optische System einer weiteren Bedingung genügt, die erstmals von R. CLAUSIUS (1864) aufgestellt und bewiesen wurde, allgemein aber ABBE*sche Sinusbedingung* genannt wird. Nach ihr muss bei einem achsenparallel einfallenden Bündel für Strahlen in beliebiger

Höhe h der Vergrösserungsfaktor bzw. die Brennweite konstant und gleich der Brennweite des Nullstrahls sein. Der mathematische Ausdruck dafür ist:

$$\frac{h}{\sin u} = \text{constans},$$

worin mit h der Abstand des einfallenden Strahls von der Systemachse und mit u der Neigungswinkel des gebrochenen bzw. reflektierten Strahls gegen die Systemachse bezeichnet wird.

Wie bereits bemerkt, lässt sich die Sinusbedingung bei Systemen aus zwei oder mehr Linsen zusammen mit der Beseitigung anderer Bildfehler erfüllen, wozu allerdings mindestens 3, besser 4 Brechungen erforderlich sind. Bei reinen Spiegelsystemen genügen hierzu 2 reflektierende Flächen. Man bezeichnet diese Systeme als *aplanatische* Systeme, auf die später noch einzugehen sein wird.

Beim Kugelspiegel stellen wir fest, dass er ähnlich wie im Falle der sphärischen Aberration auch die Sinusbedingung relativ gut erfüllt. Seine guten Eigenschaften bezüglich dieser beiden Bildfehler prädestinieren ihn damit – im Gegensatz zum Parabolspiegel – zu Systemen mit grösseren Bildfehlern. Begrenzt man die einfallenden Strahlenbündel durch eine im Krümmungsmittelpunkt angeordnete Blende, so zeigt eine einfache Überlegung, dass dann auch schräg einfallende Bündel symmetrisch reflektiert werden, also dem achsenparallel einfallenden Bündel gleichwertig sind. Das heisst aber, dass die schrägen Bündel in gleicher Weise wie das achsial aberrationsfrei sind, also weder Astigmatismus noch Koma aufweisen. Die originalen SCHMIDT- und MAKSUTOV-Systeme sind dadurch gekennzeichnet, dass bei ihnen die SCHMIDT-Platte bzw. die Blende im Krümmungsmittelpunkt des Spiegels stehen und gleichzeitig als Blende bzw. Eintrittspupille wirksam sind, womit

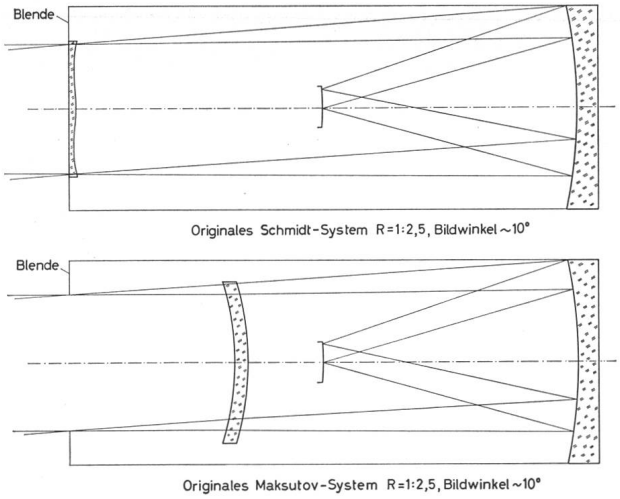

Fig. 5

Originales SCHMIDT- und originales MAKSUTOV-System mit SCHMIDT-Platte bzw. Blende im Krümmungsmittelpunkt des Spiegels: Keine sphärische Aberration, kein Astigmatismus und keine Asymmetriefehler (keine Koma), da schräg einfallende Bündel dem achsenparallel einfallenden Bündel bis zu grösseren Einfallswinkeln gleichwertig sind.

Auf die Modifikationen dieser Systeme, die auch bei anderer Lage der Eintrittspupille einen gleichwertigen Korrektionszustand aufweisen, soll hier nur hingewiesen werden.

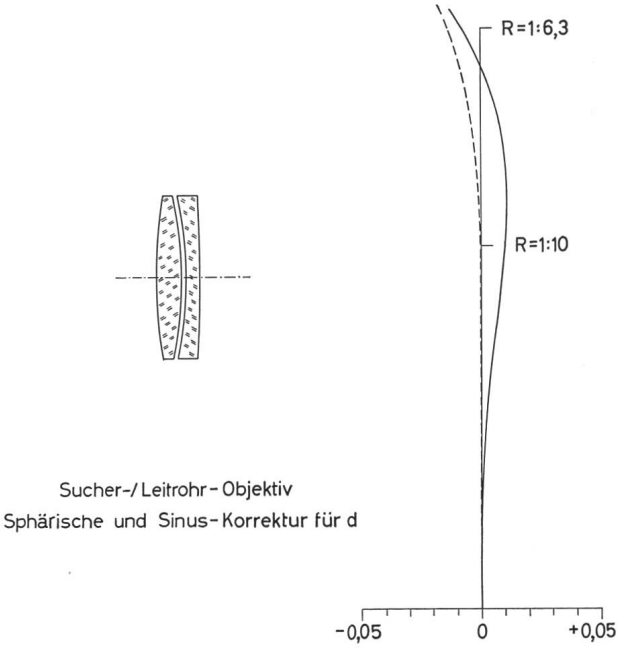

Fig. 6

Beispiel der Korrektion eines Fernrohrobjektivs in bezug auf die sphärische Aberration (———) und den Vergrösserungsfehler (Sinusbedingung (– – – –). Die Kurven gelten für gelbes Licht der Wellenlänge d (587.6 mμ bzw. nm). Nach einer Berechnung des Verfassers.

sich die Freiheit dieser Systeme von Astigmatismus und Koma erklärt.

Bei *Linsen*systemen ist die Beseitigung des Vergrösserungsfehlers oder der Abweichung gegen die Sinusbedingung durch passende Wahl der Linsendicken, -abstände und -radien, oder aber auch durch eine symmetrische oder hemisymmetrische Anordnung von Linsengruppen möglich. Erfahrungsgemäss wird damit zugleich eine weitgehende Beseitigung der ausserachsialen Koma erreicht. Das erste Fernrohrobjektiv, bei dem neben der sphärischen Aberration auch der Vergrösserungsfehler (wohl noch empirisch) zusammen mit den Farbfehlern beseitigt war, dürfte das berühmte von J. FRAUNHOFER berechnete und ausgeführte Königsberger Heliometer-Objektiv gewesen sein. Bei heutigen Berechnungen bemüht sich jeder Konstrukteur, die Zonen der sphärischen Aberration für die verschiedenen Farben und die Zonen der entsprechenden Vergrösserungsfehler gleichzeitig auf ein Minimum zu bringen, so dass sich die Fehlerkurven, dargestellt nach M. VON ROHR, der Ordinate der h-Werte anschmiegen und ihre Differenzkurve möglichst mit dieser Ordinate zusammenfällt. Erfahrungsgemäss garantiert eine solche Korrektion beste Schärfe und Brillanz des Bildes auf und in der näheren Umgebung der optischen Achse.

Literatur

[1]) E. WIEDEMANN, ORION *13* (1968) Nr. 106, 75–78.

[2]) M. BEREK: Grundlagen der praktischen Optik, Berlin und Leipzig 1930.

Adresse des Autors: Dr.-Ing. ERWIN J. TH. WIEDEMANN, Garbenstrasse 5, 4125 Riehen.

Fortsetzung folgt.